

Praxiserfahrungen mit der Wasserstoffeinspeisung in ein Erdgasverteilnetz

Der Anteil regenerativer Energie in der Stromerzeugung steigt und hat im ersten Halbjahr 2015 bereits einen Anteil von 33 Prozent am Brutto-Inlandsstromverbrauch erreicht. In einzelnen Versorgungsnetzen kann der Anteil deutlich höher sein. Mit diesem **großen Anteil an volatilem Wind- und Sonnenstrom** nimmt die Notwendigkeit von geeigneten Strom- bzw. Energiespeichern deutlich zu. Mit der bedarfsorientierten Umwandlung von erneuerbarem Strom in Gas kann die Gaswirtschaft zu Lösungen der gesamtgesellschaftlichen Aufgabe Energiewende auf verschiedensten technischen Wegen beitragen. Eine effiziente Möglichkeit ist es, den erneuerbaren Wasserstoff aus der Elektrolyse direkt in die Erdgastransport- und Verteilnetze einzuspeisen. Nach DVGW-Regelwerk und Energiewirtschaftsgesetz ist eine **Einspeisung im einstelligen Prozentbereich** grundsätzlich zulässig. Heute sind noch einige technische Fragestellungen entlang der Erdgasversorgungskette zu bearbeiten und praxisnahe Lösungen zu entwickeln.

von: Dr. Petra Nitschke-Kowsky & Werner Weißing (E.ON Technologies), Dr. Holger Dörr & Kerstin Kröger (DVGW-EBI)



Abb. 1: Erdgas-Druckregelstrecke Klanxbüll (oben) und neu eingebaute eichfähige Erdgaszähler (unten)

Quelle: E.ON

Das Thema „Power-to-Gas“ und die damit verbundenen technischen Fragestellungen werden in zahlreichen Projekten bearbeitet [1]. Ein Schwerpunkt dieser Projekte liegt naturgemäß auf der technischen Fortentwicklung einer effizienten, kostengünstigen und zeitlich hochflexiblen Elektrolyse-Einheit [2, 3]. In einigen Projekten wird der erzeugte Wasserstoff direkt ins Erdgasnetz eingespeist, jedoch wird immer ein Grenzwert von 2 Vol.-Prozent eingehalten. Grund für die Einhaltung dieser Grenze ist die Nutzung von Erdgas als Kraftstoff und die Festlegung in der entsprechenden Norm (DIN 51624).

Im abgeschlossenen DVGW-Projekt „G1-02-12 Ermittlung der Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur und assoziierten Anlagen“ [4] wurden die gesamte Erdgasversorgungskette auf ihre Wasserstofftoleranz hin untersucht und die wichtigsten Aufgaben herausgearbeitet. Für den Bereich der häuslichen und gewerblichen Endnutzung konnte aus der Literatur und aus den Erfahrungen der beteiligten Fachleute erarbeitet werden, dass sich bei einer Wasserstoffeinspeisung bis < 10 Vol.-% ins Erdgas sicherheits- und betriebstechnisch voraussichtlich keine Beeinträchtigungen ergeben.

Ziel des Projektes war es, erstmalig eine Wasserstoffeinspeisung bis < 10 Vol.-Prozent in einem realen Verteilnetz in der Praxis durchzuführen. Neben den Erfahrungen bei Aufbau und Betrieb der Einspeiseanlage sowie dem Netzbetrieb mit Wasserstoffzumischung sollte insbesondere das Verhalten der verschiedenen Endgeräte durch intensive Begleituntersuchungen beobachtet und bewertet werden. Um die Einspeisung unabhängig nach den Erfordernissen des Netzes steuern zu können, wurde bewusst auf eine Wasserstoffherzeugung vor Ort verzichtet.

Netzauswahl und Vorbereitung

2010 hat die Schleswig-Holstein Netz AG (SHNG) den Betrieb des Erdgas- und Stromnetzes in Schleswig-Holstein und im Norden Niedersachsens von der HanseWerk AG übernommen. 200 Kommunen aus der Region sind bereits Teilhaber der SHNG. Mit Hilfe und Unterstützung durch die E.ON Hanse wurden die lokalen Bedingungen genau geprüft und mit Klanxbüll/Neukirchen konnte ein Verteilnetz im äußersten Norden Deutschlands ausgewählt werden, das den Anforderungen des Projektes genüge. Die wichtigsten Bedingungen waren eine Einseiteneinspeisung zur Sicherstellung einer definier-

ten Gasbeschaffenheit im Verteilnetz, eine angemessene Größe und Kundenzahl sowie ausreichend Platz für den Aufbau einer Einspeiseeinrichtung. Wichtig war auch, dass am Verteilgebiet keine Erdgastankstelle liegt, die einen Grenzwert von 2 Vol.-Prozent Wasserstoff im Erdgas als Kraftstoff erfordert. Die Kenndaten des Netzes sind in **Tabelle 1** zusammengestellt. In der Druckregelanlage Klanxbüll wird das Erdgas aus der Transportleitung von ca. 50 bar auf 500 mbar heruntergeregelt und in das Verteilnetz eingespeist. Auf dem Gelände und im Gebäude konnte die Wasserstoffeinspeisung aufgebaut werden.

Eine reguläre Netzbegehung fand turnusgemäß vor Start des Projektes statt und ergab keine Leckstellen im gesamten PE-Netz der versorgten Orte Klanxbüll und Neukirchen. Das Netz enthält stromab der Druckregelanlage keine weiteren Bauteile, die auf ihre Wasserstoffverträglichkeit hin geprüft werden müssen. Die Installationen bei den Kunden, d. h. Druckregler und Balgengaszähler, sind alle für Erdgas laut DVGW-Arbeitsblatt G 260 2. Gasfamilie zugelassen und damit für Wasserstoffgehalte < 10 Vol.-Prozent geeignet.

Thermische Energieabrechnung

Zur exakten thermischen Abrechnung der Kunden während der Projektlaufzeit wurde in Abstimmung mit dem Eichamt eine neue Brennwertzone eingerichtet. Der mengengewichtete Brennwert laut DVGW-Arbeitsblatt G 685 musste an der Einspeisestelle in der Druckregelanlage Klanxbüll ermittelt werden. Dazu wurde eine eichfähige Messung des Erdgas- und des Wasserstoffvolumenstromes in der Druckregelanlage neu installiert. In Absprache mit dem Eichamt konnte der Brennwert des verteilten Erdgas/Wasserstoff-Gemisches rechnerisch aus den Brennwerten des Erdgases und des eingespeisten, reinen Wasserstoffes ermittelt werden. Der Brennwert des verteilten Erdgases wurde in Nordhackstedt durch einen dort bereits installierten Prozessgaschromatografen (PGC) ermittelt. Vor der ersten Einspeisung am 1. Mai 2014 wurde der Zählerstand aller Kunden im Netzgebiet abgelesen.

Aufgaben und Verantwortlichkeiten

Bei diesem in Deutschland und Europa bisher einzigartigen Projekt, der Einspeisung von bis zu < 10 Vol.-Prozent Wasserstoff in ein bestehendes Netz ohne Neuinstallation oder Ein-



Quelle: E.ON

Abb. 2: Aufstellung der Wasserstoff-Flaschenbündel auf dem Gelände der Druckregelanlage Klanxbüll

Tabelle 1: Kenndaten des Erdgasverteinetzes in Klanxbüll/Neukirchen

| Gasversorgung Klanxbüll/Neukirchen | |
|------------------------------------|--|
| Erdgasverbrauch | max. ca. 170 Nm ³ /h |
| Brennwert im Versuchszeitraum | 12,2 kWh/m ³ |
| Wobbe-Index im Versuchszeitraum | 15,2 kWh/m ³ |
| Einspeisung von Wasserstoff | 2 Vol.-%, 3 Vol.-%, 4 Vol.-%, 6,5 Vol.-%, 9 Vol.-% |
| Netzbeschreibung | |
| Baujahr | 1997 |
| Eingangsdruk der Druckregelanlage | 40 – 60 bar |
| Druck im Verteilnetz | 500 mbar |
| Leitungslänge | ca. 18 km |
| Rohrmaterial | PE |
| Einspeisepunkte | 1 |
| Odorierung | Odor-S-Free |
| Brennwertzone | |
| Netzkunden und Gebäude | |
| Einwohner Klanxbüll/Neukirchen | ca. 2.000 |
| Anzahl an Netzkunden | 177 |
| Baujahr der Gebäude | ca. 1951 bis 1985 |
| Gebäudetyp | überwiegend Einfamilienhäuser |
| Gewerbekunden | Restaurants, Hotels |
| Erdgastankstelle | keine |

Quelle: SHNG

Tabelle 2: Übersicht über Laboruntersuchungen an haushaltlichen Gasgeräten mit bis zu 30 Vol.-% Wasserstoffzumischung. * 2 Geräteuntersuchungen bei DVGW-EBI außerhalb des GERG-Projekts

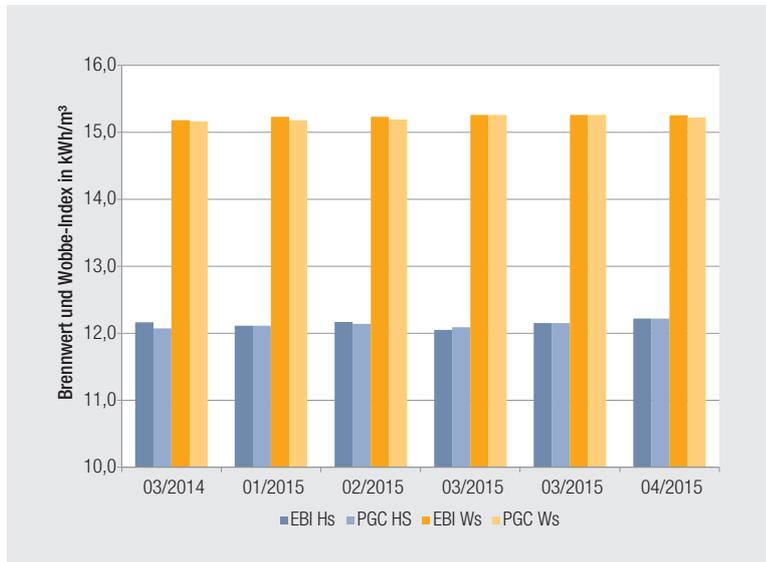
| Gerätetyp | GWI | KIWA | E.ON | Summe |
|---------------------------------------|-----|------|------|-------|
| Brennwertkessel, verbrennungsgeregelt | 3 | 1 | 4 | 8 |
| Brennwertkessel | 3 | 3 | 4 | 10 |
| atmosphärische Kessel | 4 | | 3 | 7 |
| Durchlaufwasserheizer | | 4 | 1 | 5 |
| Speicherwasserheizer | | 1 | | 1 |
| Strahlungsheizer | | 1 | | 1 |
| Luftheizer | | 1 | | 1 |
| Dekoratives Feuer | | 2 | | 2 |
| Herd Brenner | | 1 | 1 | 2 |
| Stirling-Gerät | * | | 1 | 1 |
| Gebläsebrenner | | | 1 | 1 |
| Gesamtanzahl | 10 | 14 | 15 | 39 |

Quelle: E.ON/DVGW-EBI

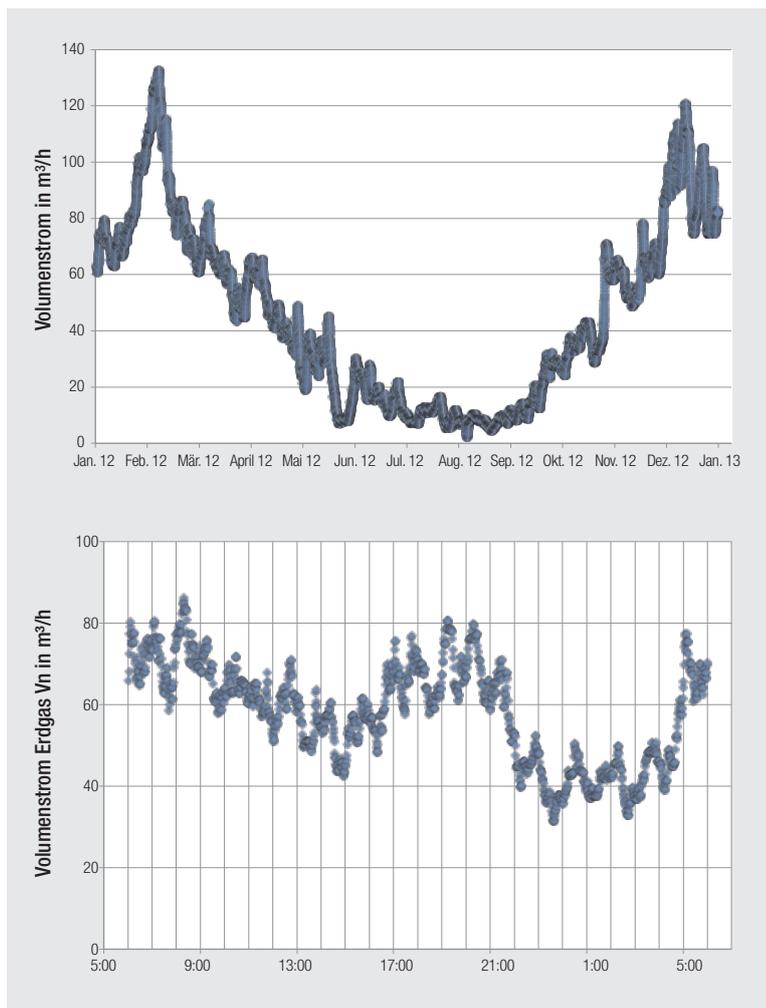
Abb. 3: Vergleich der berechneten Brennwerte und Wobbe-Indizes aus den Mittelwerten der Proben, entnommen bei den Kundenanlagen, und den Mittelwerten der Messungen am PGC Nordhackstedt über den Zeitraum der Probenentnahme

justierung der vorhandenen Geräte, war es notwendig, die Verantwortlichkeiten und Aufgaben vorab zu klären und durch einen Vertrag mit der SHNG abzusichern. Hilfreich hierbei war die gedankliche Trennung in den Aufbau und Betrieb der Einspeiseanlage, den eigentlichen Netzbetrieb und die Verantwor-

tung für den Betrieb der Endgeräte beim Kunden. Planung, Aufbau und Inbetriebnahme der Einspeiseanlage inkl. des Wasserstofflagers wurden von der Projektleitung durch E.ON Technologies übernommen. Nach einer TÜV-Abnahme gingen Betrieb und Verantwortung für die Anlage in die Hände der SHNG über.



Quelle: DVGW-EBI/E.ON



Quelle: DVGW-EBI/E.ON

Abb. 4: Typischer Jahres- und Tageslastgang des Erdgasvolumenstroms der Druckregelanlage Klanxbüll

Der Netzbetrieb konnte, da es sich um ein Erdgas nach DVGW-Arbeitsblatt G 260 handelt, ohne weitere Maßnahmen weitergeführt werden. Die turnusmäßig anstehende Netzbegehung, bei der keine Leckstellen festgestellt wurden, ergab eine zusätzliche Sicherheit. Auch der Betrieb der Endgeräte ist, da ein Gas nach DVGW-Arbeitsblatt G 260 verteilt wurde, ohne Einschränkungen möglich. Alle Geräte wurden vor der ersten Einspeisung erfasst und sichergestellt, dass eine Typprüfung vorlag. Damit sind die Geräte während der Prüfung u. a. mit dem Prüfgas G 222 mit 23 Vol.-Prozent Wasserstoff geprüft worden. Zusätzlich wurden im Rahmen des DVGW-Projektes und in einem parallel laufenden GERG-Projekt 39 haushaltliche Gasgeräte mit bis zu 30 Vol.-Prozent Wasserstoffzumischung sorgfältig im Labor untersucht (Tab. 2) [5]. Es gab keine Auffälligkeiten und keine Funktionsstörungen. Auf dieser Grundlage gab es eine gemeinsame positive Bewertung durch E.ON und das DVGW-EBI für den Netzbetreiber, dass die Sicherheit gewährleistet war und keine erhöhten Kundenreklamationen zu erwarten waren.

Kommunikation

Grundsätzlich werden ökologisch ausgerichtete Projekte von der Öffentlichkeit gerne unterstützt. Die ausgewählte Projektregion ist durch zahlreiche Windenergieprojekte mit den zugehörigen Unternehmen und Arbeitsplätzen gekennzeichnet. Die Aufgabe, regenerativ erzeugten Überschussstrom sinnvoll zu verwenden, ist den Betreibern der Anlagen gut bekannt. In diesem Umfeld wurde das Projekt sorgfältig durch Vorgespräche mit den Bürgermeistern, den Installateuren, Schornsteinfegern und durch eine Kundenveranstaltung vorbereitet. Jeder Kunde in der betroffenen Region erhielt einen Brief mit einem Projektflyer zur Erläuterung. Da die Kunden teilweise mehrfach besucht werden sollten, um die installierten Geräte zu erfassen und zu vermessen, wurde ein Wartungsgutschein als Aufwandsentschädigung beigelegt.

Aufbau der Einspeiseanlage

Für den Aufbau der Einspeiseanlage wurde die bestehende Druckregelanlage mit einer doppel-schienigen Erdgasregelstrecke (Abb. 1) umge-baut. Die Erdgas-Regelstrecke wurde mit zwei eichfähigen Drehkolbenzählern der Fimra Itron ausgerüstet. Zwölf Flaschenbündel versorgten (Abb. 2) die Wasserstoffregelstrecke, bestehend aus Druckregler, Mengenreglung und eichfähiger Mengenmessung (Drehkolbenzähler). Die Ein-düsung in die Erdgasleitung erfolgte über eine Mehrfach-Lochsonde quer gegen die Hauptströ-mungsrichtung des Erdgases. Aus den eichfähigen Mengenmessungen wurde jeweils das Ver-hältnis berechnet und überwacht. Für eine zwei-te redundante Überwachung wurde der Aus-gangsleitung der Druckregelanlage kontinuierlich eine Probe entnommen und der Wasserstoffgehalt mit einem Wasserstoffsensor gemessen.

Der Aufbau der wasserstoffführenden Bauteile erfolgte in Anlehnung an das DVGW-Regel-werk. Da zur Zeit des Anlagenaufbaus das DVGW-Arbeitsblatt G 265-3 „Anlagen für die Einspeisung von Wasserstoff“ noch nicht vor-lag, wurde die gesamte Anlage vom TÜV Nord abgenommen. Nach der Abnahme wurde die Verantwortung für die Anlage und die Be-triebsführung an die SHNG übertragen.

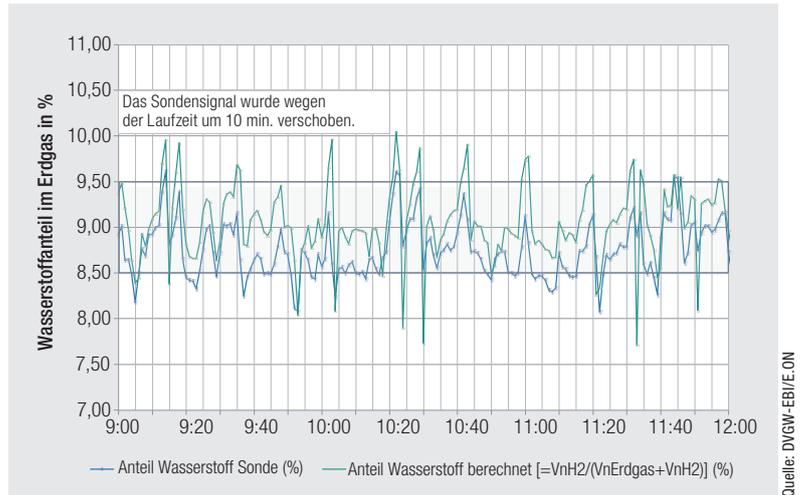
Erfahrungen im Netzbetrieb mit der Einspeisung

Gasbeschaffenheit bei Wasserstoffzumischung

Die Gasbeschaffenheit des Erdgases für Klanxbüll/Neukirchen wird mit einem PGC in Nord-hackstedt, etwa 40 Kilometer vor der Druckre-gelanlage Klanxbüll gemessen. Die Laufzeit vom PGC bis zur Druckregelanlage beträgt maximal ca. 30 Stunden. In der Projektlaufzeit wurde das Verteilnetz mit einer sehr konstan-ten Erdgasbeschaffenheit mit folgenden Kenn-daten beliefert.

Brennwert: 12,2 kWh/m³
relative Dichte: 0,64
Wobbe-Index: 15,2 kWh/m³

Während der Projektlaufzeit wurden an den Kundenanlagen Gasproben entnommen und im Labor des DVGW-EBI analysiert. Ein Ver-gleich der Brennwerte und Wobbe-Indizes zeigte eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 3). Die Gasproben bei Einspeisung wurden dazu wasserstofffrei gerechnet.



Quelle: DVGW-EBI/E.ON

Laut DVGW-Arbeitsblätter G 260 und G 262 sind bei Wasserstoffeinspeisung drei Bedin-gungen zu erfüllen:

Wobbe-Index: $\geq 13,6 \text{ kWh/m}^3$
relative Dichte: $\geq 0,55$
H₂-Anteil: $< 10 \text{ Vol.-%}$

Anhand der Formeln lassen sich die Grenzwer-te mit maximaler Wasserstoffeinspeisung er-rechnen:

$$H_{s,\text{Erdgas+H}_2} = 0,9 \cdot H_{s,\text{Erdgas}} + 0,1 \cdot H_{\text{H}_2} = 11,3$$

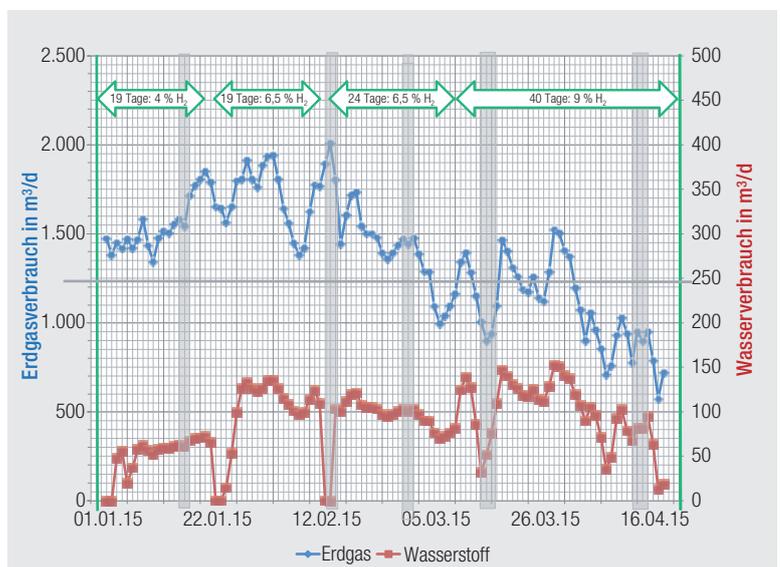
$$d_{\text{Erdgas+H}_2} = 0,9 \cdot d_{\text{Erdgas}} + 0,1 \cdot d_{\text{H}_2} = 0,58$$

$$W_{s,\text{Erdgas+H}_2} = \frac{H_{s,\text{Erdgas+H}_2}}{\sqrt{d_{\text{Erdgas+H}_2}}} = 14,84$$

Mit dem vorgegebenen Erdgas wurden die Grenzwerte des DVGW-Arbeitsblattes G 260 auch bei einer Einspeisung von 10 Vol.-% Wasserstoff stets eingehalten.

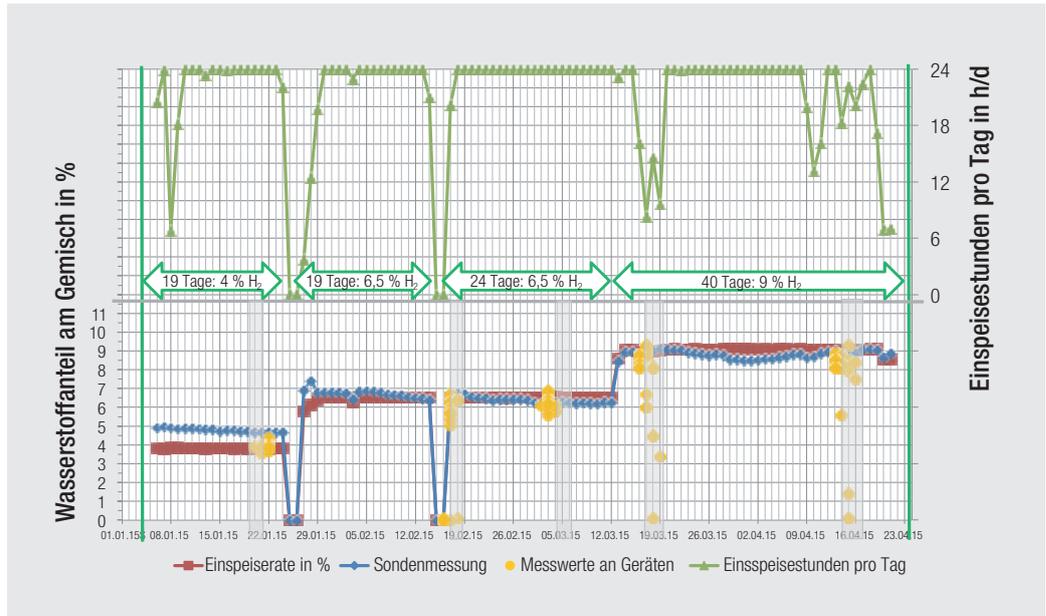
Abb. 5: Wasserstoffanteil im Gemisch über einen Zeitraum von drei Stunden. Vergleich der berechneten Werte aus den eichfähig gemessenen Volumenströmen und der gemessenen Werte in der Ausgangsleitung der Druckregelanlage

Abb. 6: Verlauf des täglichen Erdgas- und Wasserstoffverbrauchs in der Einspeise-phase von Januar bis April 2015



Quelle: DVGW-EBI/E.ON

Abb. 7: Tägliche Einspeisedauer und gemessener Anteil Wasserstoff. Der Wasserstoffanteil wurde über das Verhältnis der gemessenen Volumenströme ermittelt (rote Kurve), in der Ausgangsleitung der Druckregelanlage (blaue Kurve) und an den Kundenanlagen gemessen (gelbe Punkte). Die Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung. Durch Abschaltungen der Einspeisung stellte sich bei einzelnen Kundenanlagen ein niedrigerer Prozentsatz ein.



Quelle: DVGW-EB/IE.ON

Erfahrungen bei Inbetriebnahme und Dauereinspeisung

Der Erdgasvolumenstrom für Klanxbüll/Neukirchen beträgt maximal ca. 170 Nm³/h im Winter. Da das Verteilgebiet durch Haushaltsgasverbrauch geprägt ist, ergibt sich ein deutlicher Tagesverlauf mit Spitzen am frühen Morgen zum Ende der Nachtabsenkung und am späten Nachmittag, bei Heimkehr der Bewohner. Zusätzlich ist durch eine gewisse Netzatmung eine Schwankung im Stundenbereich festzustellen, die im Wesentlichen durch die Einstellung und Charakteristika des Eingangsdruckreglers und das Netzvolumen bestimmt wird (Abb. 4).

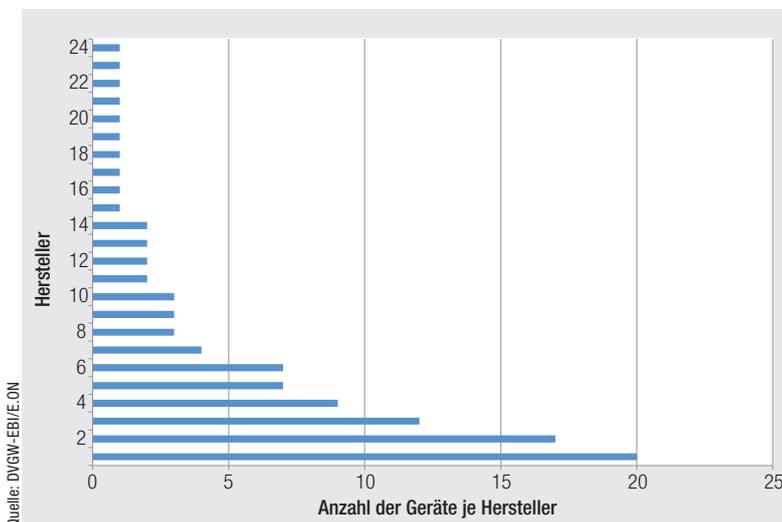
Wasserstoff konnte in einem weiten Volumestrombereich mit einstellbaren Raten zwischen 2 Vol.-Prozent und 9 Vol.-Prozent eingestellt werden. Die mittlere quadratische Abweichung betrug +/- 0,5 Vol.-Prozent Wasserstoff. **Abbildung 5** zeigt ein Beispiel über drei Stunden. Der

errechnete Anteil aus den gemessenen Volumenströmen von Erdgas und Wasserstoff und der Anteil, der in der Ausgangsleitung gemessen wurde, zeigten eine gute Übereinstimmung.

Diese Einspeisung konnte bis zu Erdgasvolumenströmen von 20 Nm³/h realisiert werden. Eine Begrenzung gab es einerseits durch die untere Eichgrenze des Wasserstoffzählers von 0,375 Nm³/h und andererseits durch den Arbeitsbereich des Eingangsdruckreglers. Damit ist eine kontinuierliche Einspeisung im Winter möglich, in der wärmeren Jahreszeit konnte nur intermittierend eingespeist werden.

Im Projekt wurden zwei Einspeisephasen realisiert. Nach der Inbetriebnahme der Anlage im April 2014 und der Einrichtung der neuen Brennwertzone wurde von Mai bis Juli mit schrittweise steigenden Raten von 2 Vol.-Prozent bis 4 Vol.-Prozent intermittierend eingespeist. Im Januar 2015 begann die kontinuierliche Einspeisung mit 4 Vol.-Prozent, die dann auf 6,5 Vol.-Prozent und 9 Vol.-Prozent angehoben wurde. In **Tabelle 3** sind die Daten zusammengefasst, **Abbildung 6** zeigt die täglichen Erdgas- und Wasserstoffmengen während der Einspeisephase 2015. Während der kontinuierlichen Einspeisung wurde der Wasserstoffgehalt des verteilten Gases zusätzlich bei jeder Kontrollmessung an bis zu 30 Kundenanschlüssen mit einem Wasserstoffsensoren gemessen. **Abbildung 7** zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen dem berechneten Wert aus den Volumenströmen, der Messung in der Ausgangsleitung der Druckregelanlage und den Messungen an den Kundenanschlüssen.

Abb. 8: Verteilung der Hersteller der installierten Gerätetechnik im Versuchsgebiet



Quelle: DVGW-EB/IE.ON

Während der Einspeisung ereigneten sich kurze Ausfälle der Anlage, sodass zeitweise Erdgas ohne Wasserstoffzumischung eingespeist wurde. Je nach Ort des Anschlusses und der Laufzeit wurden an den Kundenanlagen daher teilweise niedrigere Wasserstoffanteile gemessen. Die Odorierung wurde vor und während der Einspeisung überprüft und eine ausreichend hohe Menge Odoriermittel nachgewiesen.

Betriebsanalyse der installierten Gerätetechnik

Neben den Erfahrungen und technischen Lösungen bei Erstellung und Betrieb einer Einspeiseanlage war es ein wichtiges Ziel, das Betriebsverhalten der installierten Gasgerätetechnik bei Wasserstoffeinspeisung in der Praxis zu untersuchen. Dazu wurde vor der ersten Einspeisung jeder Netzkunde durch ein vom DVGW-EBI beauftragtes Fachunternehmen besucht, um die Gerätetechnik aufzunehmen und zu vermessen. Dabei wurden u. a. der CO₂-, O₂- und CO-Gehalt im Abgas sowie die Lufttemperatur gemessen, sodass die Luftzahl und die spezifischen CO-Emissionen berechnet werden konnten.

Geräteverteilung

In dem relativ kleinen Netzgebiet ist mit 10 Gerätetechnologien, 110 verschiedenen Gerätetypen von 27 unterschiedlichen Herstellern und einem Gerätealter von bis zu 22 Jahren eine erstaunliche Vielfalt installiert (Abb. 8 bis 10). Zur Heizung sind vorwiegend Brennwertkessel von 18 verschiedenen Herstellern installiert. Bezüglich Gerätetechnik, Baujahr, Hersteller und Einstellungen gibt es also eine große Bandbreite, sodass die Projektergebnisse eine gute Aussagekraft haben werden.

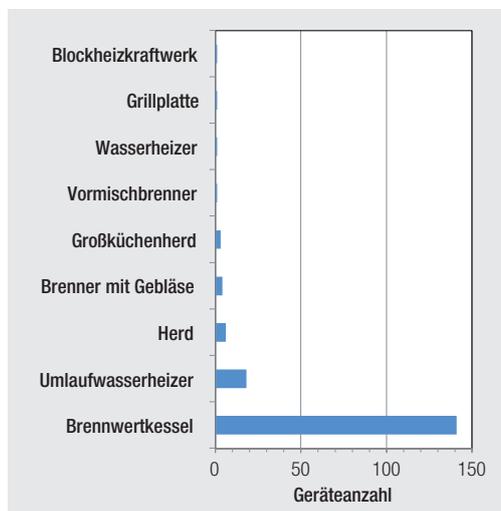


Abb. 9: Installierte Gerätetechnologien im Versuchsgebiet

| Zeitraum | Betrieb | Anzahl Tage | H ₂ -Anteil | Einspeise-stunden |
|-----------------------|-----------------|-------------|------------------------|-------------------|
| 19.5.2014 – 16.7.2014 | intermittierend | 59 | 2 %, 3 %, 4 % | 433 h |
| 6.1.2015 – 26.1.2015 | kontinuierlich | 19 | 4 % | 427 h |
| 27.1.2015 – 12.3.2015 | kontinuierlich | 43 | 6,5 % | 988 h |
| 13.3.2015 – 21.4.2015 | kontinuierlich | 40 | 9 % | 835 h |
| Gesamt | | 161 | | 2.683 h |

Quelle: DVGW-EBI/E.ON

Betriebsanalyse während der Wasserstoffeinspeisung

Die Analyse des Gerätebetriebs beruhte im Wesentlichen auf zwei Maßnahmen, einer Beobachtung durch Kunden bzw. Installateure und gegebenenfalls einer Störungsanalyse sowie wiederholter Messungen an einer Gruppe ausgewählter Geräte durch ein Fachunternehmen.

Die örtlichen Installateure wurden vor der ersten Einspeisung ausführlich über das Projekt informiert und sensibilisiert, während der Einspeisephase auf Störungen an Geräten zu achten. Ein ausführlicher Fragebogen wurde verteilt, der bei Störungen, die möglicherweise auf die Wasserstoffeinspeisung zurückzuführen waren, ausgefüllt an das Projektteam zurückgegeben werden sollte. Allen Kunden wurde bei Projektstart eine Störungsnummer angegeben. Beides diente dazu, möglicherweise auftretende Veränderungen im Gerätebetrieb zu erfassen, zu analysieren und gegebenenfalls Maßnahmen zu ergreifen.

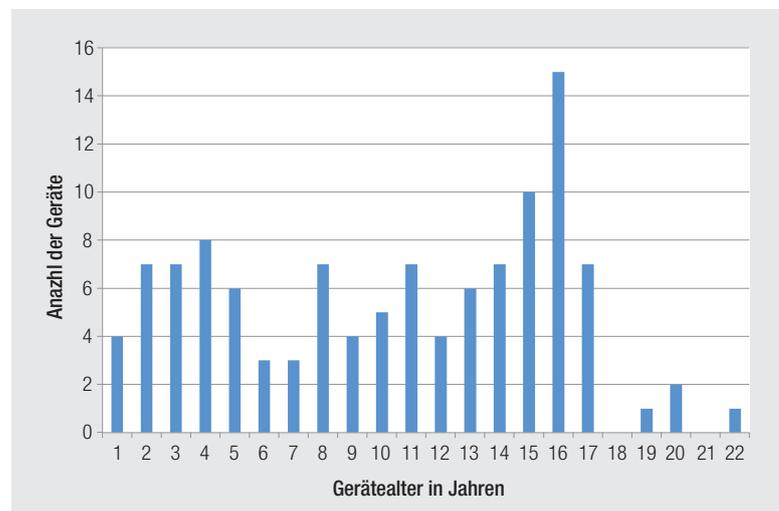


Abb. 10: Altersstruktur der installierten Gerätetechnik im Versuchsgebiet

Tabelle 4: Anzahl der Messungen an den im Verteilnetz installierten Gasgeräten

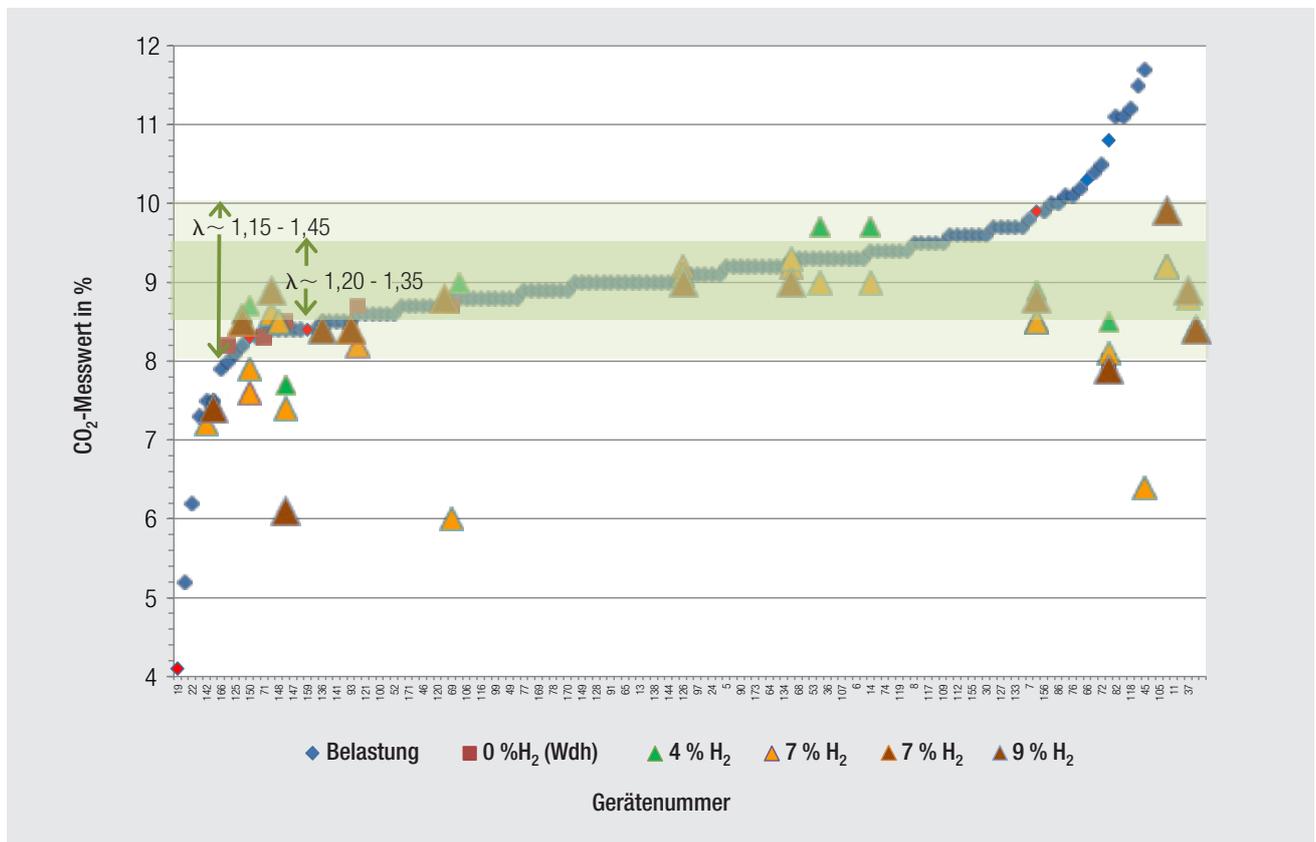
| Gerätetyp | Erfassung 03/2014 | 4% H ₂ 01/2015 | 6,5% H ₂ 02/2015 | 6,5% H ₂ 03/2015 | 9% H ₂ 03/2015 | 9% H ₂ 04/2015 | Abschluss 07/2015 |
|-------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Brennwertkessel | 139 | 4 | 10 | 19 | 17 | 19 | 130 |
| Umlaufwasser- heizer | 18 | 3 | 6 | 6 | 5 | 6 | 16 |
| WH | 1 | | | | | | |
| NT-Kessel | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Gebläsebrenner | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| BHKW | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sonstige | | | | | | | |

Quelle: DVGW-EB/VE-ON

Abb. 11: CO₂-Messwerte an den Brennwertkesseln im Versorgungsgebiet. Die Werte liegen überwiegend im vorgesehenen Bereich. Tendenziell ergibt sich mit Wasserstoffeinspeisung eine Abweichung zu niedrigeren Werten.

Für die Wiederholungsmessungen wurde sorgfältig darauf geachtet, eine repräsentative Auswahl bezüglich Gerätetypen, Hersteller, Bauart, z. B. des Brenners, und Betriebszustand hinsichtlich Luftzahl und Emissionen zu treffen. Tendenziell wurden eher Geräte ausgewählt, die bei der Erfassungsmessung etwas außerhalb des vorgegebenen Betriebszustandes (zu hohe/zu niedrige Luftzahl) und/oder mit leicht erhöhten CO-Emissionen betrieben wurden. Auf diese Weise sollten insbesondere „nicht ideale“ Praxiseinstellungen auf ihre Wasserstoffempfindlichkeit untersucht werden. **Tabelle 4** gibt eine Übersicht über alle durchgeführten Messungen. Die Messergeb-

nisse wurden detailliert ausgewertet. In **Abbildung 11** sind beispielhaft die CO₂-Werte der Brennwertkessel für die Erhebungsmessung und die fünf Messkampagnen während der Einspeisephasen von 4 Vol.-Prozent, 6,5 Vol.-Prozent und 9 Vol.-Prozent Wasserstoff dargestellt. Der weit überwiegende Anteil an Messergebnissen während der Erhebung liegt innerhalb des optimalen Bereiches von ca. 8 bis 10 Prozent CO₂. Die wenigen Geräte mit CO₂-Werten außerhalb dieses Bandes zeigten dennoch keine Auffälligkeiten, nur ein Gerät wies erhöhte CO-Emissionen auf. Auch bei Zumischung von Wasserstoff blieb diese Einstellung erhalten, tendenziell nahmen die



Quelle: DVGW-EB/VE-ON

gemessenen CO₂-Werte jedoch geringfügig ab. Diese Entwicklung ist zu erwarten, da mit der Wasserstoffzumischung der Luftbedarf abnimmt und damit die Luftzahl zunimmt.

Tabelle 5 fasst die Ergebnisse der CO-Messungen an allen Geräten und die Kundenrückmeldungen zusammen. Während der Einspeisung gab es zwei Meldungen von Kunden, deren Brennwertgeräte störende Geräusche verursachten. Beide Fälle wurden in Zusammenarbeit mit dem Hersteller untersucht und es konnte gemeinsam festgestellt werden, dass der Wasserstoff nicht die Ursache der Störungen war.

Bei insgesamt 422 durchgeführten Messungen an den Kundenanlagen wurden neun Mal CO-Emissionen über 500 ppm (luftfrei, trocken) gemessen. Alle diese Messwerte konnten durch eine Reinigung des Gerätes inkl. Wärmeaustauscher wieder in den zulässigen Normalbereich gesenkt werden. Mit 2,1 Prozent liegt der Anteil von Messwerten über 500 ppm leicht unterhalb des Werts der Schornsteinfegererhebungen der Jahre 2011 bis 2014 [6] von 2,5 Prozent bis 2,7 Prozent. Die Wasserstoffeinspeisung hat also keinen statistisch nachweisbaren negativen Einfluss auf die CO-Emissionen.

Fazit und Ausblick

Mit der praktischen Umsetzung einer Wasserstoffeinspeisung bis < 10 Vol.-Prozent in ein Gasverteilnetz mit unverändertem Gerätebestand wurden beispielhafte Lösungswege für eine Vielzahl von technischen, rechtlichen und organisatorischen Detailfragen gelöst, die in der Praxis genutzt werden können. Die umfassenden Feld- und Laboruntersuchungen erbrachten keine Ergebnisse oder Hinweise, die Einschränkungen der bestehenden Grenzen für die Wasserstoffeinspeisung in den DVGW-Arbeitsblättern G 260 und G 262 erforderlich machen.

Die Laboruntersuchungen an haushaltlichen Geräten wurden bereits bis zu einer Zumischung von 30 Vol.-Prozent erfolgreich durchgeführt. Somit stellt sich heute die Frage, inwieweit der Grenzwert von < 10 Vol.-Prozent nach oben ausgedehnt werden kann. Voraussetzungen sind die Klärung der offenen Fragen zu Erdgasspeichern, Erdgastanks bei Fahrzeugen und Gasturbinen. ■

Tabelle 5: Übersicht über die CO-Messergebnisse

| Gerätetyp | Anzahl Geräte | Anzahl Messungen | Anzahl CO > 500 ppm* | Anzahl CO > 1.000 ppm* |
|--------------------|---------------|------------------|----------------------|------------------------|
| Brennwertkessel | 139 | 338 | 0 | 2 |
| Umlaufwasserheizer | 18 | 60 | 5 | 1 |
| NT-Kessel | 1 | 6 | 0 | 0 |
| Gebälsebrenner | 4 | 11 | 1 | 0 |
| BHKW | 1 | 7 | 0 | 0 |
| Summe | | 422 | 9 entspr. 2,1 % | |

* Beide bei 0 Vol.-% H₂ -Gehalt

Quelle: DVGW-EBI/E.ON

Literatur

- [1] Übersicht der Power-to-Gas-Projekte in Deutschland, „greenfacts - das Magazin für die Energiewende“, Hrsg. DVGW, Online verfügbar auf www.dvgw-innovation.de/fileadmin/innovation/pdf/ptg_druck.pdf (Zugriff am 01.09.2015).
- [2] R. Schoof und F. B. P. D. K. S. Dr. Andrei Zschocke, „Windstromspeicherung im Erdgasnetz – ein E.ON Power-to-Gas-Projekt in Falkenhagen“, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Bd. 62. Jg. Nr. 11, S.93, 2012.
- [3] P. B. H. F. G. W. E. W. Julia Antoni, „Praxiserfahrungen - Power-to-Gas-Anlage der Thüga-Gruppe“, *gwf Gas Erdgas*, S. 608 - 612, 9 2014.
- [4] M. H. Gert Müller-Syring, „Auswirkungen von Wasserstoff im Erdgas in Gasverteilnetzen und bei Endverbrauchern“, *gwf Gas Erdgas*, S. 310 - 313, 5 2014.
- [5] P. Nitschke-Kowsky und W. Weßing, „Impact of hydrogen admixture on installed gas appliances“, *World Gas Conference (WGC)*, Kuala Lumpur, 2012.
- [6] www.schornsteinfeger.de/Erhebungen.html, 1.09.2015. Online verfügbar auf: www.schornsteinfeger.de/Erhebungen.html (Zugriff am 1.09.2015).

Die Autoren

Dr. Petra Nitschke-Kowsky ist Projektleiterin bei E.ON Technologies.

Dipl.-Ing. Werner Weßing ist Programmmanager Gasverteilung im E.ON Konzern und Mitglied im DVGW TK Gasverteilung.

Dr. Holger Dörr ist am DVGW-EBI für Forschungsprojekte zu Anwendungstechnologien und Gasbeschaffungen verantwortlich.

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kröger ist Projektleiterin und Leiterin des Labors für Brennstoffanalytik am DVGW-EBI.

Kontakt:

Dr. Petra Nitschke-Kowsky
E.ON Technologies GmbH
Gladbecker Str. 404, 45326 Essen
Tel.: 0201 184-8775
E-Mail: petra.nitschke-kowsky@eon.com
Internet: www.eon.com